Aus dem Institut für
Parasitologie und Tropenveterinärmedizin
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Zur Sterile-Male-Release-Technique: Sterilisation durch γ-Strahlen (^{60}Co) bei Amblyomma variegatum (Fabricius, 1794), Hyalomma anatolicum excavatum (Koch, 1844) und Rhipicephalus appendiculatus (Neumann, 1901)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ulrich Beuthner
Tierarzt aus Ahlen
Berlin 1975

Journal Nr. 868

Aus dem Institut für
Parasitologie und Tropenveterinärmedizin
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Zur Sterile-Male-Release-Technique: Sterilisation durch γ-Strahlen (^{60}Co) bei Amblyomma variegatum (Fabricius, 1794), Hyalomma anatolicum excavatum (Koch, 1844) und Rhipicephalus appendiculatus (Neumann, 1901)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ulrich Beuthner
Tierarzt aus Ahlen
Berlin 1975

Journal Nr. 868

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Vorsitzender
des FBR: Prof. Dr. H. Loppnow

Referent: Prof. Dr. F. Hörchner

Korreferent: Prof. Dr. K. Hartung

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der Promotion: 9. 12. 1975

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
2.	Radiosterilisation und ihre Anwendung bei der Schädlingsbekämpfung (an Hand der Literatur)	4
2.1.	Bestrahlung von Insekten	4
2.2.	Bestrahlung von Zecken	9
2.2.1.	Biologie der Zecken	9
2.2.2.	Radiosterilisation bei Zecken	11
3.	Eigene Untersuchungen	13
3.1.	Material und Methode	13
3.2.	Ergebnisse	16
3.2.1.	Amblyomma variegatum, als Adulte und Nymphen bestrahlt	16
3.2.2.	Hyalomma anatolicum excavatum, als Adulte und Nymphen bestrahlt	20
3.2.3.	Rhipicephalus appendiculatus, als Adulte und Nymphen bestrahlt	24
4.	Diskussion	28
5.	Zusammenfassung/Summary	33
6.	Literaturverzeichnis	35
	Lebenslauf	

1. Einleitung

In den Tropen und Subtropen verursachen Zecken unter Wild-, Nutz- und Haustieren erhebliche wirtschaftliche Verluste.

Schild- und Lederzecken benötigen für ihre Entwicklung in jedem der einzelnen Lebensstadien eine Blutmahlzeit. Bei Massenbefall schädigen die Zecken das Wirtstier durch erheblichen Blutentzug, wobei adulte Weibchen bis zu über 5 Gramm Blut aufnehmen. Weitere Schadwirkungen sind direkte Schädigungen an der Haut des Wirtes, wo Juckreiz durch lokale Entzündungen an der Einstichstelle sowie allergische Reaktionen nach wiederholtem Zeckenbefall auftritt.
Weit wichtiger ist aber ihre Bedeutung als Überträger verschiedener Krankheiten. Sie sind wichtige und essentielle Vektoren oder Zwischenwirte für Erreger, die in den Zecken bis zu deren nächstem Entwicklungsstadium verweilen, sich vermehren oder eine Entwicklungsphase durchmachen (Viren, Rickettien, Bakterien, Protozoen).

Die Bekämpfung der Zecken war und ist deshalb eine Voraussetzung zur Eindämmung vieler verlustreicher Nutztierkrankheiten. Seit Jahrzehnten werden Akarizide zur Vernichtung der Zecken eingesetzt. Durch ständiges "Sprayen" und regelmäßiges "Dippen" von Nutztieren stellt die zunehmende Resistenz der Zecken vielerorts ein großes Problem dar, wie es bereits für andere Schädlinge (Insekten) bekannt ist.
Eine weitere Möglichkeit ist die biologische Schädlingsbekämpfung, nämlich die Ausrottung durch Aussetzen steriler Arthropoden. Diese können sterilisiert werden durch:

1) Hybridisierung (Kreuzung verwandter Arten)
2) Chemosterilisation (Sterilisierung durch Verabreichen chemischer Substanzen)
3) Radiosterilisation (Sterilisieren mit γ-Strahlen).

Die sterile-male-release-technique = SMRT (Aussetzen steriler männlicher Arthropoden) wurde mit radiosterilisierten Insekten bei einzelnen Schädlingsarten schon mit Erfolg angewandt. Mit den folgenden Untersuchungen sollte festgestellt werden, welchen Einfluß γ-Strahlen auf die Entwicklungsfähigkeit von

Schildzecken haben, und ob hiermit sterile, aber kopulationswillige und -fähige Zeckenmännchen der Arten Amblyomma variegatum (Fabricius, 1794), Hyalomma anatolicum excavatum (Koch, 1844) und Rhipicephalus appendiculatus (Neumann, 1901) gewonnen werden können.

2. Radiosterilisation und ihre Anwendung bei der Schädlingsbekämpfung (an Hand der Literatur)

2.1. Bestrahlung von Insekten

Die erste Insektenbestrahlung - durch Röntgenstrahlen - mit dem Ziel der Sterilisierung zum Zwecke der Ausrottung bestimmter Schädlingsarten hat HUNTER (1912) vorgenommen. Er bestrahlte verschiedene Entwicklungsstadien vom Reiskäfer, Calandra oryzae, und mehreren Zecken- sowie zwei Asselarten mit jeweils verschiedenen Strahlendosen, konnte aber eine eindeutig durch die Bestrahlung verursachte verminderte Fruchtbarkeit oder Sterilität nicht feststellen. Zu demselben Ergebnis kam er bei Versuchen mit der Schildlausart Pseudococcus calceolariae, der Stechmückenart Culex pipiens und dem Zuckerrohrzünsler Diatraea saccharalis. Hunter zitiert, daß vor ihm nur zwei Autoren von Insektenbestrahlung berichten - Forel und Dufour bestrahlten Ameisen, Formica sanguinea, Axenfelt Hausfliegen, Musca domestica -, die jedoch beide zu dem Schluß kamen, daß Röntgenstrahlen nicht den geringsten Einfluß auf diese Insektenarten hätten.

Knipling hatte Ende der 30er Jahre zum erstenmal die Idee, sterile männliche Insekten bei der Insektenbekämpfung einzusetzen, wobei er in erster Linie an die Ausrottung der "screw worm fly", Cochliomyia (Callitroga) hominivorax, dachte, die im Süden der USA großen wirtschaftlichen Schaden an Nutztieren anrichtete. Doch erst 1946 wurde in den USA eine intensive Forschung über die Möglichkeit der sterile-male-release-technique (= SMRT) begonnen (KNIPLING, 1965).
BUSHLAND und HOPKINS (1951) fanden, daß C. hominivorax-Männchen, am 5. bis 6. Tag als Puppen mit 5 krad bestrahlt, steril sind ohne Beeinträchtigung ihres normalen Verhaltens. 100 dieser sterilen Männchen wurden mit je 10 nicht bestrahlten Männchen und Weibchen zusammengesetzt, wobei im Vergleich zu den Kontrollen 64 % der abgelegten Eier steril waren. Noch geringer war die Schlupfrate (86 % steril), als sterile Männchen und

Weibchen mit normalen Männchen und Weibchen im Verhältnis 10:10:1:1 zusammengesetzt wurden (BUSHLAND und HOPKINS, 1953).

Knipling stellte 1959 die hypothetische Behauptung auf:

1) in der Überzahl verdrängen die sterilen die fruchtbaren Männchen bei den monogamen Weibchen;
2) durch die SMRT wird die Fliegenpopulation um 90 % pro Generation verringert, ebenso beim Einsatz von Insektiziden;
3) die dabei überlebenden 10 % verfünffachen sich pro Generation ebenso wie die unberührte Population.

Daraus folgerte er, daß beispielsweise eine unbeeinflußte Insektenpopulation von 1 Million nach 4 Generationen 125 Millionen zähle, eine mit Insektiziden behandelte nach dieser Zeit auf 125.000 dezimiert sei, während durch die SMRT nach demselben Zeitraum nur noch 125 Insekten überleben würden (LINDQUIST, 1963).

Auf Grund der Erkenntnisse von BUSHLAND und HOPKINS (1951 u. 1953) wurde auf der Antillen-Insel Curaçao von BAUMHOVER und Mit. (1955) ein Großversuch zur Ausrottung der "screw worm fly" durch die SMRT durchgeführt. Es gelang innerhalb von 8 Wochen, auf der ganzen 172 Quadratmeilen großen Insel die gesamte "screw worm fly"-Population auszurotten.

Dieser erste große Erfolg der SMRT in der Praxis gab den Anlaß, 1958/59 in Florida ein großangelegtes staatliches Projekt zur "screw worm fly"-Bekämpfung in Angriff zu nehmen (LINDQUIST, 1963). 25 Millionen "screw worm flies" wurden wöchentlich südöstlich des Mississippi ausgesetzt, der die natürliche Schutzgrenze vor einer Reinvasion darstellte. Insgesamt wurden ca. $3{,}5 \times 10^9$ sterile Männchen ausgesetzt, und nach 17 Monaten konnte in diesem Gebiet keine Fliege dieser Art mehr gefunden werden. Den Viehzüchtern und der betroffenen Industrie bedeutete das einen jährlichen Mehrgewinn von über 20 Millionen Dollar, d. h. das gesamte Projekt war in wenigen Monaten bezahlt.

Nach diesem beeindruckenden Erfolg sollte in Texas und den Südweststaaten der USA dieselbe Kampagne durchgeführt werden. Da dort aber keine natürlichen Grenzen vor Reinvasionen schützen wie in Florida Meer und Mississippi, stieß das Unternehmen ohne Einbeziehung des Staates Mexico auf äußerst große Schwierigkeiten.

Veranlaßt durch diese beiden Erfolge der SMRT, wurde nun in vielen Ländern die Möglichkeit der Anwendung dieser Technik an den verschiedensten Insekten untersucht:

DAVIS und Mit. (1959) stellten fest, daß die "Malariamücke" Anopheles quadrimaculatus durch eine Bestrahlung mit 9 bis 12 krad im Puppen- oder Adultenstadium steril wird ohne sonstige Beeinträchtigung. Beim Zusammensetzen von sterilen Männchen mit unbestrahlten Männchen und Weibchen im Verhältnis 10:1:1 sank die Zahl der Mücken um ca. 80 %. Feldversuche in Florida mit sterilen A. quadrimaculatus ergaben jedoch keine deutliche Verminderung der Population (WEIDHAAS und Mit., 1962).

Ebenso konnten MORLAN und Mit. (1962) in ihren Feldversuchen mit der "Gelbfiebermücke" Aedes aegypti einen eindeutigen Erfolg mit der SMRT nicht erzielen. Sie hatten mit 11 bis 18 krad als Puppen bestrahlte sterile Männchen in Florida ausgesetzt.

WALKER und BRINDLEY (1963) sterilisierten in Laborversuchen konkurrenzfähige, d. h. in ihrem Allgemeinverhalten nicht beeinträchtigte Männchen vom Maiszünsler, Ostrinia nubialis, indem sie Adulte mit 32 krad bestrahlten.

BALDWIN und SHAVER (1963) bestrahlten die Raubwanze Rhodnius prolixus, Überträger der chagas disease in Südamerika. Da Raubwanzen-Weibchen aber mehrmals kopulieren und mit γ-Strahlen sterilisierte Männchen wesentlich früher sterben als unbestrahlte, mußte ein der "screw worm fly"-Bekämpfung vergleichbarer Erfolg ausbleiben.

Vom Agricultural Research Council of Central Africa wurde 1964 in Zusammenarbeit mit dem United States Department of Agriculture

(USDA) und der International Atomic Energy Agency (IAEA) die Möglichkeit ins Auge gefaßt, die SMRT zur Bekämpfung der wichtigsten Tsetsefliegenart, Glossina morsitans, anzuwenden (DEAN und Mit., 1968). Bestrahlungsversuche ergaben eine nur 95 - 97 %ige Sterilität bei 12 krad, wobei die Sterblichkeit der als Puppen bestrahlten Männchen über 50 % lag (nach ca. 3 Wochen), während die als Adulte bestrahlten in den ersten 7 Wochen besser überlebten als unbestrahlte. Solche als Adulte bestrahlten Männchen wurden im Verhältnis 4:1:1 mit normalen Männchen und Weibchen zusammengesetzt, wonach die Population um ca. 30 % zurückging.
ITARD (1970) fand eine 100 %ige Sterilität bei G. morsitans erst bei 25 krad, wobei die Letalität jedoch über 50 % lag.

DAME und SCHMIDT (1970) berichten, daß nach Feldversuchen mit G. morsitans unter afrikanischen Bedingungen nach 20 Monaten im Versuchsgebiet keine Fliege dieser Art mehr zu finden war, da sie monatlich die dreifache Menge der pro Flächeneinheit natürlich vorhandenen Männchen als sterile Männchen (chemosterilisiert) aussetzten, diese Monatsdosis vierteljährlich um 50 % senkten und in vierteljährlichem Abstand, zentrifugal fortschreitend, neue Flächeneinheiten in die Bekämpfung mit einbezogen.
Schwierigkeiten bereitet bei einer derartigen Tsetsefliegen-Bekämpfung allerdings die Massenzucht von Glossinen, die bisher nur in begrenztem Umfang möglich ist (DEAN und Mit., 1968; DAME, 1968; WETZEL, 1973).

LEWIS und EDDY (1964) gelang es, Männchen und Weibchen der Hornfliege, Haematobia irritans, zu sterilisieren, indem sie 7 Tage alte Puppen mit 5 krad bestrahlten. Beide Geschlechter von bestrahlten und unbestrahlten Puppen, im Verhältnis 10:1 zusammengesetzt, ergaben eine deutliche Senkung der Schlupfrate, d. h. aus 10 % bis 38 % der gelegten Eier schlüpften Larven, während diese Schlupfrate bei den unbestrahlten Kontrollen zwischen 62 % und 93 % lag.

Im selben Jahr stellten TILTON und Mit. (1966) fest, daß Männchen der Speckkäferart Trogoderma glabrum, mit 25 krad sterilisiert, konkurrenzfähig sind.

Auch die Männchen der sekretsaugenden Goldfliegenart Hippelates pusio, als Adulte mit 5 krad bestrahlt, sind steril und in ihrer Konkurrenzfähigkeit nicht beeinträchtigt (FLINT, 1966).

Eine 98 %ige Sterilisierung beschreibt HATHAWAY (1966) bei mit 40 krad bestrahlten Männchen des Apfelwicklers, Carpocapsa pomonella. Die F_1-Generation ging im Feldversuch - 20:1:1 ausgesetzt - um 80 % zurück. PROVERBS und Mit. (1967) gelang es, in einer Apfelplantage in Kanada zwischen 1963 und 1965 durch Aussetzen von sterilen Männchen und Weibchen (50 krad) im Verhältnis 15:15:1:1 die Befallsrate der Äpfel mit C. pomonella von 60 % auf 0,3 % innerhalb von zwei Jahren zu senken.

In Ägypten untersuchten ABDEL-MALEK, TANTAWY und WAKID (1966), ob die SMRT auch bei der Mücke Anopheles pharoensis, einem der wichtigsten Malaria-Überträger im Niltal, mit Erfolg anzuwenden ist. Sie fanden, daß A. pharoensis-Weibchen oft nur einmal kopulieren, aber auch bei mehrmaliger Kopulation (TANTAWY und Mit., 1967a) die Spermien steriler Männchen mit denen normaler Männchen in Konkurrenz treten (ABDEL-MALEK und Mit., 1967b). In Laborversuchen stellten sie fest, daß als Puppen mit 12 krad bestrahlte Männchen steril (ABDEL-MALEK und Mit., 1967a) und konkurrenzfähig (TANTAWY und Mit., 1967a + b) sind. Doch erst, als sterile Männchen mit unbehandelten Männchen und Weibchen in einem Verhältnis von 10 (und mehr):1:1 zusammengesetzt wurden, lag der Prozentsatz der Eier, aus denen keine Larven schlüpften, bei 96 - 99 % (TANTAWY und Mit., 1967b).

ARCE (1968) hat mit seinen ökologischen Untersuchungen über die amerikanische Dasselfliege, Dermatobia hominis, ermittelt, daß diese in Texas und Mittelamerika Millionenschäden anrichtende Fliege ebenso wie die "screw worm fly" erfolgreich bekämpft werden könnte. Im selben Jahr berichtet BANEGAS (1968), daß bei D. hominis der optimale Zeitpunkt zur Bestrahlung nach Ablauf von 5/7 (d. h. 25 Tage) der Puppenzeit liege. In seinen Versuchen waren bei einer γ-Strahlendosierung von 10 krad 100 % der Weibchen steril und ohne somatische Schäden; Männchen waren dagegen nur zu 99,6 % steril.

2.2 Bestrahlung von Zecken

2.2.1. Biologie der Zecken

Argasidae (Lederzecken) und Ixodidae (Schildzecken) sind getrenntgeschlechtlich. Die begatteten Weibchen legen mehrere tausend Eier (bei einigen Ixodiden-Arten bis zu 15.000) und sterben. Parthenogenese kommt bei manchen Arten vor. Aus den Eiern schlüpfen sechsbeinige Larven. Die folgenden noch nicht geschlechtsreifen Stadien werden Nymphen genannt und haben wie die Adulten vier Beinpaare. In jedem Entwicklungsstadium saugen die Zecken Blut aus einem Wirbeltier, vergrößern ihr Körpervolumen dabei um das bis zu über 100fache und häuten sich in das nächste, größere Stadium. Ein Puppenstadium gibt es nicht. Häutung und Wachstum hören im geschlechtsreifen Stadium auf. Der Entwicklungszyklus kann sich bei Zecken über Monate und Jahre hinziehen, da alle Stadien relativ lange hungern können (temperaturabhängig). Bei Lederzecken sollen Hungerperioden über Jahre beobachtet worden sein.
Bei den Lederzecken (Argasidae) ist in allen Stadien einschließlich der männlichen und weiblichen Adulten die gesamte Körperoberfläche weich und sehr dehnbar. Während ihrer Entwicklung bilden vor allem die Gattungen Argas und Ornithodoros mehrere, je nach Art verschieden viele Nymphenstadien. Während die Lebensweise der Larven von Art zu Art unterschiedlich ist (es gibt für Tage bis Wochen stationär saugende, für 1 - 2 Stunden temporär saugende und auch nicht saugende Larven), sind Nymphen und Adulte dieser beiden Gattungen immer temporäre, minuten- bis stundenweise saugende Parasiten. Die weiblichen Zecken saugen 6 - 7 mal, wonach sie jedesmal kleinere Eimengen ablegen.

Die Schildzecken (Ixodidae) haben auf ihrer Dorsalfläche eine harte, pigmentierte Chitinplatte, das Scutum (= Schild). Während bei den Männchen der gesamte Rücken mit dem nicht dehnbaren Scutum bedeckt ist, sie also nur sehr wenig Blut aufnehmen können, ist bei den Weibchen sowie bei den ungeschlechtlichen Entwicklungsstadien nur das craniale Drittel, maximal die craniale Hälfte der Dorsalfläche vom Scutum überzogen.

Jedes der drei Entwicklungsstadien - Ixodiden haben nur ein Larven- und ein Nymphenstadium - saugt nur einmal für mehrere Tage als stationärer Parasit Blut. Dabei wird eine Wirtsart bevorzugt oder ausschließlich befallen; eine Wirtsspezifität ist also je nach Art mehr oder weniger stark ausgeprägt.

Ob die ganze Entwicklung auf ein und demselben Wirt erfolgt oder ob mehrere Wirte benötigt werden ist artentypisch. Man unterscheidet:

Einwirtige Zecken (Larven, Nymphen und Adulte auf einem Wirt);
zweiwirtige Zecken (Larven und Nymphen auf einem, Adulte auf einem anderen Wirt);
dreiwirtige Zecken (Larven, Nymphen und Adulte jeweils auf einem anderen Wirt).

Die Begattung findet bei fast allen Ixodidenarten zu Beginn des Saugaktes auf dem Wirt statt. Die Weibchen saugen nur einmal, fallen ab und legen ein einziges großes Eigelege. Sie können sich jedoch nur dann ausreichend vollsaugen und Eier legen, wenn eine Begattung stattgefunden hat (WEYER und ZUMPT, 1966; WALKER, 1970; HOOGSTRAAL, 1956).

2.2.2. Radiosterilisation bei Zecken

Bei der Lederzecke Ornithodoros tholozani, wichtiger Überträger des menschlichen Rückfallfiebers in Israel, fanden GALUN, WARBURG und AVIVI (1967), daß die Männchen, als Adulte mit 16 krad bestrahlt, zu über 99 % steril sind bei kaum beeinträchtigter Konkurrenzfähigkeit. Die sexuelle Aktivität hört aber nach der ersten oder zweiten Kopulation auf, worauf STERNBERG, PELEG und GALUN (1973) in ihrer Veröffentlichung über die Geflügelzecke Argas persicus hinweisen. Sie bestrahlten A. persicus mit 12 krad und erhielten 99 % sterile Männchen, die für ca. 2 - 3 Wochen konkurrenzfähig waren, dann aber wie O. tholozani ihre Spermienproduktion einstellten. Daraufhin sterilisierten GALUN, STERNBERG und MANGO (1972) Weibchen von A. persicus mit 4 krad, die durchschnittlich 14 mal kopulieren. Da aber die Männchen in Anwesenheit einer Überzahl von Weibchen eine verstärkte sexuelle Aktivität entwickeln, scheinen sterile Weibchen zur Bekämpfung dieser Art durch eine sterile-female-release-technique nicht geeignet.

Bei Männchen und Weibchen der Schildzecke Hyalomma asiaticum stellten SIDOROW und GROKHOWSKAYA (1964) eine Sterilität schon nach einer Bestrahlung mit 3 krad fest ohne Beeinträchtigung der Konkurrenzfähigkeit bzw. Kopulationsbereitschaft.

DRUMMOND und Mit. (1966) bestrahlten die "lone star tick", Amblyomma americanum, in verschiedenen Entwicklungsstadien mit 0,25 bis 15 krad. Sie fanden, daß Männchen, mit 1 krad als Nymphen zwei Wochen nach der Repletion bestrahlt, steril waren; allerdings saugte sich nur 1 von 15 der unbestrahlten Partner-Weibchen voll, d. h. eine Konkurrenzfähigkeit der Männchen war nicht gegeben, da die Weibchen den Begattungsreiz zum Vollsaugen benötigen. Als Adulte bestrahlte Männchen waren mit 2,5 krad steril, wobei sich 12 von 15 der unbestrahlten Partner-Weibchen vollsaugten, was dem Prozentsatz des Kontrollversuches genau entsprach.

OLIVER und Mit. (1972) unternahmen Bestrahlungsversuche mit der braunen Hundezecke, Rhipicephalus sanguineus. Männliche Zecken

wurden mit 0,5 bis 16 krad bestrahlt. Ab 4 krad waren sie 100 % steril.

Die bisher ausführlichsten Versuche mit γ-Bestrahlung von Ixodiden haben PURNELL und Mit. (1972) veröffentlicht. Sie bestrahlten Rhipicephalus appendiculatus als hungrige Nymphen, als Nymphen 2 Stunden nach Beendigung des Saugaktes, als Nymphen 11 Tage nach Beendigung des Saugaktes und als Adulte 8 Wochen nach der Häutung mit jeweils 0,25 bis 16 krad. Hungrige Nymphen wurden mit einer Dosis bis zu 2 krad bestrahlt und häuteten sich nach dem Saugakt; mit höherer Dosis bestrahlt, starben sie. Die Fruchtbarkeit der Überlebenden war bei den Weibchen nur leicht, bei den Männchen stark vermindert. Eine absolute Sterilität konnte jedoch nicht erzielt werden. Ebenso verhielten sich die 2 Stunden nach dem Saugakt bestrahlten Nymphen. Von den 11 Tage nach dem Saugen bestrahlten Nymphen - die Häutung wurde bei allen Dosierungen nicht beeinflußt - wurden die Weibchen nicht ganz steril, während die Männchen ab 8 krad 100 % steril waren; bei allerdings extrem langer Saugzeit und extrem niederem Sauggewicht der unbestrahlten Partner-Weibchen. Die als Adulte bestrahlten Weibchen waren ebenfalls in allen Dosierungen nicht ganz steril. Die als Adulte bestrahlten Männchen dagegen waren schon ab 4 krad 100 % steril; bei allerdings deutlich verlängerter Saugzeit und deutlich verringertem Sauggewicht der unbestrahlten Partner-Weibchen.

Da Ixodiden-Weibchen im Gegensatz zu den Männchen nur ein einziges Mal kopulieren, kann nur die Sterilisierung der Männchen einen Sinn haben.
Da eine sterilisierende Strahlendosis auf Larven und Nymphen bereits eine tödliche bzw. stark schädigende Wirkung hat, läßt nur eine Bestrahlung bei gehäuteten Adulten oder solchen, die unmittelbar vor der Häutung sind, das Entstehen steriler, aber ansonsten ungeschädigter Zeckenmännchen erwarten. Das bedeutet auch, daß nur 2- und 3wirtige Zecken bestrahlt werden können, da die 1wirtigen Zecken vor dem Begattungsakt ihre ganze Entwicklung auf dem Wirt vollziehen, ohne ihn zu verlassen.

3. Eigene Untersuchungen

3.1. Material und Methode

Für die Bestrahlungsuntersuchungen, die von Januar 1974 bis Februar 1975 durchgeführt wurden, standen folgende drei Schildzeckenarten zur Verfügung:

die 2-3wirtige Hyalomma anatolicum excavatum (Koch, 1844), Stamm Syrien 1964,

die 3wirtige Amblyomma variegatum (Fabricius, 1794), Stamm Togo 1970,

die 3wirtige Rhipicephalus appendiculatus (Neumann, 1901), Stamm Kenya-Muguga.

Bei allen drei Arten handelt es sich um Stämme, die mindestens über acht Generationen unter Laborbedingungen gehalten wurden und eine hohe Reproduktionsrate aufwiesen.

Als Wirtstiere für die zur Entwicklung notwendigen Blutmahlzeiten dieser Zecken dienten 12 deutsche Merino-Landschafe, 6 deutsche schwarz-bunte Kälber und 30 Kaninchen verschiedener Kreuzungen. Alle Wirtstiere waren zuvor noch nicht mit Zecken besetzt und wurden nur zu jeweils einer Blutmahlzeit verwendet, um Verminderungen der Reproduktionsrate auf Grund von Immunreaktionen nach mehrmaligem Zeckenbesatz auszuschließen (KÖHLER und Mit., 1967). Alle Zecken - die vollgesogenen Weibchen einzeln - wurden in Glasröhrchen im Brutschrank bei 27 ($\pm$ 1)° C und 80 ($\pm$ 5) % relativer Luftfeuchtigkeit (r. L.) gehalten. Die Glasröhrchen hatten einen Durchmesser von 3 cm und eine Höhe von 4,5 cm, waren mit einem luftdurchlässigen Stopfen verschlossen und enthielten ein mit einem Antimykotikum getränktes Papierblättchen. Beim Saugakt herrschten in den Ställen Temperaturen von 23 - 25° C bei 60 - 80 % r. L.

Für die Bestrahlungsversuche wurden vollgesogene Nymphen 2 - 3 Tage vor der Häutung und hungrige adulte Männchen eine Woche nach der Häutung mit 0, 2, 3, 4, 6 und 8 krad bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgte an einer ^{60}Co-Quelle des Hahn-Meitner-Institutes für Kernforschung in Berlin-Wannsee. Die Zecken befanden sich während der Bestrahlung in verschließbaren Plastik-

röhrchen von 1 cm Durchmesser und 2,5 cm Höhe. Diese wurden je nach Bestrahlungsdosis in verschiedene Abstandspositionen von der Strahlenquelle gebracht, so daß die Bestrahlungszeiten zwischen den einzelnen Dosierungen nicht zu sehr differierten. Um das Risiko eventueller Schädigungen durch entstehendes Ozon gering zu halten, wurden möglichst kurze Bestrahlungszeiten gewählt (zwischen 6 und 15 Minuten), jedoch nicht so kurz, daß bei der manuell bedienten ^{60}Co-Quelle eine Ungenauigkeit von wenigen Sekunden mehr als eine Abweichung von 0,03 krad hätte verursachen können.

Zwei Wochen nach der Häutung wurden als Nymphen oder Adulte bestrahlte Zeckenmännchen mit gleichaltrigen, nicht bestrahlten Weibchen an die Ohren der Wirtstiere gesetzt, die Ohren mit Leinensäckchen überstülpt und mit Leukoplast$^{(R)}$ fixiert, um ein Abwandern der hungrigen und den Verlust der vollgesogenen Zecken zu verhindern.
Im Abstand von 1 - 2 Tagen wurden die Leinensäckchen abgenommen, um die Ohren zu reinigen, den Sitz der Zecken und ihre Paarbildung zu kontrollieren und vollgesogene abgefallene Zeckenweibchen einzusammeln. Somit konnte auch die Saugzeit der einzelnen Zecken ermittelt werden.

Amblyomma variegatum wurde an Schafe und Kälber, Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus an Kaninchen angesetzt, und zwar an jeweils einem Ohr nur 25 bzw. 20 Zeckenpaare.

Von A. variegatum - als Adulte bestrahlt - und Rh. appendiculatus - als Adulte bestrahlt - wurden je 6 Gruppen à 100 Männchen (= 5 Bestrahlungsdosen + Kontrolle),
von A. variegatum - als Nymphen bestrahlt - und Rh. appendiculatus - als Nymphen bestrahlt - und H.a.excavatum - als Adulte bestrahlt - je 6 Gruppen à 50 Männchen,
von H.a.excavatum - als Nymphen bestrahlt - je 6 Gruppen à 40 Männchen mit jeweils zahlengleichen Weibchen zusammengesetzt.

Verluste entstanden, wenn die einzeln gehaltenen Wirtstiere sich von ihren Leinensäckchen befreien konnten, diese an der Tränke stark durchnäßten oder in diesen vollgesogene Zeckenweibchen an der Boxenwand zerquetschten.

Als Kriterien für die Wirkung der Bestrahlung wurden folgende Faktoren herangezogen:

1) die Saugzeit der unbestrahlten Partner-Weibchen,
2) das Sauggewicht der unbestrahlten Partner-Weibchen,
3) das Gewicht der Gelege,
4) der Prozentsatz der aus den Eiern geschlüpften Larven (Schlupfrate).

Das Sauggewicht jedes einzelnen Zeckenweibchens wurde auf 1 mg genau, das Gewicht jedes einzelnen Geleges auf 0,1 mg genau mit einer Analysenwaage gemessen. Um die Schlupfrate jedes einzelnen Geleges zu ermitteln, wurden die verschlossenen Glasröhrchen unter ein Stereomikroskop gelegt und ausschnittweise das Verhältnis der leeren Eihüllen zu den verbliebenen Eiern ausgezählt.

3.2. Ergebnisse

In mehreren Vorversuchen wurde ermittelt, in welcher Zeit es nach dem Ansetzen einer jeweils gleichen Anzahl Männchen und Weibchen unter Laborbedingungen bei nicht behandelten Amblyomma variegatum, Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus zur Partnerauffindung auf dem Wirtstier kommt. Spätestens am 4. Tag hatte bei allen Zecken die Paarbildung stattgefunden.

In allen durchgeführten Versuchsserien mit Zeckenmännchen dieser drei Arten, die als Nymphen oder Adulte mit 0 - 8 krad bestrahlt wurden, kam es im selben Zeitraum zur vollzähligen Paarbildung mit den Weibchen. Die Bestrahlung hatte darauf also keinerlei Einfluß.

3.2.1. Amblyomma variegatum, als Adulte und Nymphen bestrahlt

Die Partner-Weibchen von den mit 2 krad als Adulte bestrahlten A. variegatum-Männchen unterschieden sich nach dem Abfallen vom Wirtstier am Ende des Saugaktes (Repletion) von den Kontrollen praktisch nicht im Durchschnittssauggewicht (Tab. VII) und in der prozentualen Verteilung der Sauggewichte (Tab. Ib). Dasselbe gilt für die Partner-Weibchen der als Nymphen mit 2 krad bestrahlten Amblyomma variegatum-Männchen (Tab. IIb und VII). Auch Durchschnitt und prozentuale Verteilung der Gewichte der Eigelege unterschieden sich nicht zwischen den Partner-Weibchen der unbestrahlten und der als Nymphen oder Adulte mit 2 krad bestrahlten Männchen (Tab. VII, Ic u. IIc). Ebenso waren der Durchschnitt und die prozentuale Verteilung der Saugzeiten bis zur Repletion der Partner-Weibchen der mit 2 krad als Nymphen oder Adulte bestrahlten Männchen praktisch den Kontrollen gleich. Die meisten saugten weniger als 19 Tage am Wirtstier (Tab. Ia und IIa).
Wurden die Männchen mit 3 krad als Nymphen oder Adulte bestrahlt, so waren das Saug- und Gelegegewicht der Partner-Weibchen sehr gering und die Saugzeit sehr lange, d. h. über 50 % der Weibchen hatten nach der Repletion weniger als das

10fache ihres ursprünglichen Gewichtes (ca. 50 mg), saugten 26 Tage und länger bis zur Repletion und legten keine Eier. Dieser Prozentsatz veränderter Zecken wurde bei höherer Strahlendosis immer größer und erreichte bei den Partner-Weibchen der als Nymphen mit 8 krad bestrahlten Männchen sogar 100 % (Tab. Ia-c, IIa-c).
Alle als Nymphen oder Adulte mit 2 - 8 krad bestrahlten A. variegatum-Männchen waren 100 % steril (Tab. Id und IId).

Aus mehreren Eigelegen der Partner-Weibchen, die mit bestrahlten sterilen Männchen kopuliert hatten, schlüpften (nach relativ langer Entwicklung im Ei) Larven, die verkrüppelt und nur kurze Zeit lebensfähig waren oder sich ausschließlich zu weiblichen Adulten entwickelten. Nach den Untersuchungen von PERVOMAISKY (1949) und SCHEIN (1968) sind diese Larven parthenogenetischen Ursprungs. Der Prozentsatz der Gelege, aus denen parthenogenetische Larven schlüpften, lag bei den Partner-Weibchen der mit 2 krad bestrahlten Männchen über 50 % und sank mit zunehmender Bestrahlungsdosis deutlich ab; die Partner-Weibchen der als Nymphen mit 8 krad bestrahlten Männchen hatten keine parthenogenetischen Nachkommen mehr (Tab. Id und IId).

Tab. I: Amblyomma variegatum

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Adulte (1 Woche nach der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 12-15	16-17	18-19	20	21	22	23	24	25	26 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage)
0	90	47,8	28,9	14,5	2,2	2,2	-	1,1	-	2,2	1,1	15,9
2	55	16,3	27,3	5,5	7,3	23,6	-	3,6	1,8	7,3	7,3	19,1
3	64	12,5	7,8	4,7	-	4,7	9,4	1,6	3,1	1,6	54,6	22,6
4	50	-	16,0	4,0	-	4,0	-	2,0	2,0	2,0	70,0	23,9
6	58	-	1,7	-	-	6,9	1,7	3,5	-	1,7	84,5	25,3
8	71	-	1,4	-	-	1,4	2,8	-	-	-	94,4	25,7

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 5000	über 4000	über 3000	über 2000	über 1000	über 500	bis 500
0	90	-	11,1	40,0	35,6	10,0	2,2	1,1
2	55	-	5,5	30,8	41,8	10,9	5,5	5,5
3	64	4,7	4,7	11,0	15,5	9,4	4,7	50,0
4	50	-	2,0	8,0	8,0	10,0	4,0	68,0
6	58	-	-	5,2	6,9	8,6	5,2	74,1
8	71	-	-	2,8	2,8	4,2	1,4	88,8

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 2500	über 2000	über 1500	über 1000	über 500	über 100	bis 100	0
0	90	-	12,2	30,0	32,2	13,4	8,9	2,2	1,1
2	55	1,8	9,1	30,9	30,9	10,9	5,5	7,3	3,6
3	64	4,7	6,2	11,0	7,8	6,2	4,7	9,4	50,0
4	50	-	4,0	6,0	4,0	14,0	2,0	18,0	52,0
6	58	-	-	1,7	6,9	3,5	5,2	13,8	68,9
8	71	-	-	1,4	2,8	2,8	4,2	21,2	67,6

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Partheno-genese (%)	Sterilität (%)
0	90	92,2	12,2	6,7	20,0	34,4	18,9	-	-
2	55	52,7	49,1	3,6	-	-	-	52,7	100
3	64	26,6	25,0	1,6	-	-	-	26,6	100
4	50	20,0	20,0	-	-	-	-	20,0	100
6	58	6,9	6,9	-	-	-	-	6,9	100
8	71	2,8	2,8	-	-	-	-	2,8	100

Tab. II: Amblyomma variegatum

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Nymphen (2 - 3 Tage vor der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 12-15	16-17	18-19	20	21	22	23	24	25	26 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage
0	44	63,7	13,6	4,5	-	6,8	2,3	2,3	4,5	-	2,3	15,8
2	33	51,5	21,2	9,1	-	15,2	-	3,0	-	-	-	16,0
3	30	13,4	10	6,7	3,3	3,3	-	3,3	-	-	60	22,4
4	32	3,1	6,3	-	-	-	-	3,1	-	-	87,5	24,9
6	14	-	14,3	14,3	-	71,4	-	-	-	-	-	20
8	16	-	6,2	-	-	93,8	-	-	-	-	-	20,7

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 5000	über 4000	über 3000	über 2000	über 1000	über 500	bis 500
0	44	-	6,8	34,1	38,6	11,4	-	9,1
2	33	-	9,1	21,2	45,5	12,1	9,1	3,0
3	30	3,3	3,3	16,7	6,7	6,7	6,7	56,6
4	32	-	3,1	3,1	-	6,3	3,1	84,4
6	14	-	-	-	7,2	21,4	-	71,4
8	16	-	-	-	-	-	-	100

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 2500	über 2000	über 1500	über 1000	über 500	über 100	bis 100	0
0	44	-	18,2	27,3	29,5	11,4	2,3	4,5	6,8
2	33	6,1	12,1	15,2	33,3	12,1	9,1	9,1	3,0
3	30	3,3	3,3	13,4	3,3	6,7	3,3	-	66,7
4	32	-	3,1	3,1	-	-	6,3	3,1	84,4
6	14	-	-	-	14,3	14,3	-	-	71,4
8	16	-	-	-	-	-	-	-	100

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Parthenogenese (%)	Sterilität (%)
0	44	86,4	11,4	2,3	6,8	2,3	63,6	-	0
2	33	66,7	60,6	6,1	-	-	-	66,7	100
3	30	20	16,7	3,3	-	-	-	20	100
4	32	6,3	6,3	-	-	-	-	6,3	100
6	14	14,3	14,3	-	-	-	-	14,3	100
8	16	-	-	-	-	-	-	-	100

3.2.2. Hyalomma anatolicum excavatum, als Adulte und Nymphen bestrahlt

Auch bei H. a.excavatum unterschieden sich nach der Repletion die unbehandelten Partner-Weibchen der mit 2 krad als Adulte bestrahlten Männchen von den Kontrollen in Durchschnitt (Tab. VII) und prozentualer Verteilung der Sauggewichte (Tab. IIIb) praktisch nicht. Dasselbe gilt für Durchschnitt und prozentuale Verteilung der Gewichte der Eigelege (Tab. VII u. IIIc) und der Saugzeiten bis zur Repletion (Tab. IIIa).
Bei den Partner-Weibchen der als Nymphen mit 2 krad bestrahlten H. a.excavatum-Männchen dagegen unterschieden sich die Sauggewichte nach der Repletion (Tab.VII, IVb) und die Gewichte der Eigelege (Tab. VII, IVc) signifikant[+] von den Kontrollen. Auch die Saugzeit (Tab. IVa) war deutlich verlängert.
Wurden die Männchen mit 3 krad und mehr als Nymphen oder Adulte bestrahlt, so wurde das Saug- und Gelegegewicht der Partner-Weibchen mit zunehmender Strahlendosis immer geringer und die Saugzeit immer länger.
Von den Partner-Weibchen der als Adulte mit 8 krad bestrahlten Männchen hatten 43 % weniger als das 10fache ihres ursprünglichen Gewichtes (ca. 10 mg), 57 % legten keine Eier, und 31 % saugten 20 Tage und länger bis zur Repletion (Tab. IIIa-c, IVa-c).
Bei den Partner-Weibchen der als Nymphen bestrahlten Männchen war diese Veränderung wesentlich ausgeprägter. Schon nach einer Bestrahlung mit 6 krad hatten weit über 80 % dieser Weibchen nach der Repletion weniger als das 10fache ihres ursprünglichen Gewichtes und legten keine Eier, 65 % saugten 20 Tage und länger bis zur Repletion.
Wie bei A. variegatum waren auch bei H. a.excavatum alle als Nymphen oder Adulte mit 2 - 8 krad bestrahlten Männchen 100 % steril (Tab. IIId und IVd).
Der Prozentsatz der Gelege, aus denen einzelne parthenogenetische Larven schlüpften, lag bei den Partner-Weibchen, die mit den als Adulte mit 2 krad bestrahlten Männchen kopuliert hatten, bei 21 % und sank mit zunehmender Strahlendosis auf 3 % (bei 6 krad)

[+] Der statistische Vergleich der Versuchsgruppen wurde mit Hilfe des "Mann-Whitney-Testes" für eine vorgewählte Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1$ % durchgeführt.

bzw. 0 % (bei 8 krad). In nur 9 % der Eigelege der Partner-Weibchen der als Nymphen mit 2 krad bestrahlten Männchen schlüpften einzelne parthenogenetische Larven. Bei höherer Dosis trat keine Parthenogenese mehr auf (Tab. IIId und IVd).

Tab. III: Hyalomma anatolicum excavatum

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Adulte (1 Woche nach der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage)
0	45	40	46,7	13,3	-	-	-	-	10,0
2	37	29,7	35,2	29,7	5,4	-	-	-	10,7
3	42	14,3	42,8	28,6	-	9,6	4,7	-	11,7
4	35	17,1	28,6	28,6	-	5,7	2,9	17,1	12,9
6	32	6,3	-	18,7	12,5	28,1	9,4	25	16,1
8	35	-	8,6	17,2	5,7	11,4	25,7	31,4	16,8

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 1000	über 800	über 600	über 400	über 200	über 100	bis 100
0	45	6,7	28,9	20	22,2	17,8	4,4	-
2	37	13,5	13,5	21,6	24,4	18,9	8,1	-
3	42	-	14,3	16,6	26,2	26,2	14,3	2,4
4	35	5,7	8,6	11,4	8,6	22,8	14,3	28,6
6	32	-	-	-	6,3	15,6	46,9	31,2
8	35	-	-	2,8	20	20	14,3	42,9

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 500	über 400	über 300	über 200	über 100	über 50	bis 50	0
0	45	8,9	24,4	11,1	17,8	28,9	8,9	-	-
2	37	10,8	5,4	13,5	24,4	8,1	16,2	10,8	10,8
3	42	2,4	11,9	19,0	9,6	23,8	19,0	11,9	2,4
4	35	5,7	8,6	8,6	5,7	17,1	14,3	20	20
6	32	-	-	-	6,3	6,3	28,1	21,8	37,5
8	35	-	-	-	14,3	20	-	8,6	57,1

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Parthenogenese (%)	Sterilität (%)
0	45	100	2,2	4,4	15,6	17,8	60	-	0
2	37	21,6	16,2	5,4	-	-	-	21,6	100
3	42	16,6	16,6	-	-	-	-	16,6	100
4	35	8,6	8,6	-	-	-	-	8,6	100
6	32	3,1	3,1	-	-	-	-	3,1	100
8	35	-	-	-	-	-	-	-	100

Tab. IV: Hyalomma anatolicum excavatum

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Nymphen (2 - 3 Tage vor der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage)
0	34	14,7	70,6	-	14,7	-	-	-	10,8
2	11	-	-	-	45,5	54,5	-	-	15,6
3	15	-	-	-	13,3	86,7	-	-	16,2
4+)									
6	8	-	-	-	12,5	87,5	-	-	16,2
8	32	-	3,1	-	21,8	-	9,4	65,7	18,4

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 1000	über 800	über 600	über 400	über 200	über 100	bis 100
0	34	11,8	35,3	20,6	17,7	8,8	2,9	2,9
2	11	9,1	-	9,1	9,1	63,6	9,1	-
3	15	-	-	-	-	26,7	46,6	26,7
4+)								
6	8	-	-	-	-	-	12,5	87,5
8	32	-	3,1	-	-	3,1	9,4	84,4

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 500	über 400	über 300	über 200	über 100	über 50	bis 50	0
0	34	8,8	32,4	26,5	14,7	8,8	2,9	5,9	-
2	11	-	-	-	-	54,5	18,2	27,3	-
3	15	-	-	-	-	6,7	6,7	40	46,6
4+)									
6	8	-	-	-	-	-	-	-	100
8	32	-	-	3,1	-	3,1	-	6,3	87,5

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Partheno-genese (%)	Sterilität (%)
0	34	97,1	2,9	11,8	14,7	20,6	47,1	-	0
2	11	9,1	9,1	-	-	-	-	9,1	100
3	15	-	-	-	-	-	-	-	100
4+)									
6	8	-	-	-	-	-	-	-	100
8	32	-	-	-	-	-	-	-	100

+) Wegen technischen Versagens vorzeitig aus dem Versuch genommen!

3.2.3. Rhipicephalus appendiculatus, als Adulte und Nymphen bestrahlt

In Durchschnitt und prozentualer Verteilung der Sauggewichte nach der Repletion unterschieden sich die Partner-Weibchen der mit 2 krad als Nymphen oder Adulte bestrahlten Rh. appendiculatus-Männchen signifikant (Tab. Vb, VIb und VII). Ebenso war ein signifikanter Unterschied im Gelegegewicht der Partner-Weibchen der mit 2 krad als Nymphen bestrahlten Männchen festzustellen (Tab. VIc und VII), während bei den Partner-Weibchen der als Adulte bestrahlten erst ab 4 krad das Gelegegewicht deutlich geringer wurde (Tab. Vc). Mit zunehmender Strahlendosis der Männchen wurden das Sauggewicht bis zur Repletion der Partner-Weibchen und das Gewicht ihrer Eigelege immer kleiner.

Die Saugzeit bis zur Repletion war bei den Partner-Weibchen der als Adulte bestrahlten Männchen ab einer Dosis von 6 krad deutlich verlängert, während dies bei den Partner-Weibchen der als Nymphen bestrahlten Männchen schon bei 2 krad beobachtet wurde und sich bis zur höchsten Dosis von 8 krad im Durchschnitt nicht mehr änderte. Die prozentuale Verteilung zeigte aber, daß mit zunehmender Strahlendosis immer mehr Zecken länger saugten (Tab. Va und VIa).

Wie bei den beiden ersten Zeckenarten waren auch bei Rh. appendiculatus alle von 2 - 8 krad bestrahlten Männchen 100 % steril (Tab. Vd und VId).

Der Prozentsatz der Gelege, aus denen einzelne parthenogenetische Larven schlüpften, lag bei den Partner-Weibchen der als Nymphen mit 2 krad bestrahlten Männchen bei 18 % und sank mit zunehmender Strahlendosis auf 3 % (bei 6 krad) bzw. 0 % (bei 8 krad) (Tab. Vd und IVd).

Bei den Gelegen der Partner-Weibchen der als Adulte mit 2 - 6 krad bestrahlten Männchen war z. T. eine sehr hohe Schlupfrate (bei 3,8 % der Gelege über 60 %) zu beobachten.

Der Prozentsatz der Gelege, aus denen parthenogenetische Larven schlüpften, sank mit zunehmender Bestrahlungsdosis der Männchen von 69 % (bei 2 krad) auf 6 % (bei 8 krad).

Tab. V: Rhipicephalus appendiculatus

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Adulte (1 Woche nach der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 6-7	8-9	10-11	12	13	14	15	16 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage)
0	95	20	25,3	43,1	7,4	4,2	-	-	-	9,41
2	84	31,0	36,8	14,3	4,8	3,6	9,5	-	-	9,02
3	52	51,9	26,9	13,5	1,9	5,8	-	-	-	8,06
4	60	1,7	23,3	31,7	23,3	11,7	8,3	-	-	10,90
6	84	-	9,5	15,5	7,2	15,5	15,5	-	36,8	13,37
8	34	2,9	8,8	5,9	17,7	8,8	8,8	-	47,1	13,59

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 600	über 500	über 400	über 300	über 200	über 100	über 30	bis 30
0	95	2,1	5,3	14,7	25,3	16,8	21,1	14,7	-
2	84	-	-	7,2	23,8	20,2	23,8	22,6	2,4
3	52	1,9	7,7	9,6	7,7	21,2	17,3	30,8	3,8
4	60	-	3,3	6,7	1,7	15	35	38,3	-
6	84	-	-	-	1,2	1,2	31	50	16,6
8	34	-	-	2,9	-	2,9	17,7	67,7	8,8

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 250	über 200	über 150	über 100	über 50	bis 50	0
0	95	-	7,4	18,9	14,7	21,1	34,7	3,2
2	84	-	1,2	7,2	20,2	23,8	38,1	9,5
3	52	7,7	11,5	9,6	7,7	15,4	46,2	1,9
4	60	-	3,3	1,7	11,7	11,7	66,6	5
6	84	-	-	-	1,2	2,4	71,4	25
8	34	-	-	2,9	-	2,9	76,5	17,7

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Parthenogenese (%)	Sterilität (%)
0	95	74,7	13,7	8,4	11,6	11,6	29,4	-	0
2	84	69,0	50	16,6	2,4	-	-	69,0	100
3	52	36,5	28,9	1,9	1,9	3,8	-	36,5	100
4	60	16,7	11,7	3,3	1,7	-	-	16,7	100
6	84	16,6	15,4	-	1,2	-	-	16,6	100
8	34	5,9	5,9	-	-	-	-	5,9	100

Tab. VI: Rhipicephalus appendiculatus

P r o z e n t u a l e V e r t e i l u n g der Partner-Weibchen der mit unterschiedlicher Dosierung als Nymphen (2 - 3 Tage vor der Häutung) bestrahlten Männchen
a) Saugzeit; b) Sauggewicht; c) Gewicht der Eigelege; d) Schlupfrate

a)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Saugzeit in Tagen 6-7	8-9	10-11	12	13	14	15	16 u. mehr	Saugzeit (Ø, Tage)
0	44	13,6	43,2	34,1	-	-	9,1	-	-	9,4
2	28	-	3,6	14,3	-	-	25	-	57,1	14,4
3	33	-	3,0	30,3	-	15,2	39,4	3,0	9,1	12,8
4	53	-	-	15,1	1,9	-	28,3	-	54,7	14,5
6	38	-	-	5,3	-	13,2	-	44,7	36,8	14,9
8	27	-	-	-	-	33,3	-	37,1	29,6	14,6

b)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Sauggewicht in mg über 600	über 500	über 400	über 300	über 200	über 100	über 30	bis 30
0	44	-	2,3	13,6	27,3	25	15,9	13,6	2,3
2	28	-	-	3,6	10,7	10,7	17,9	50	7,1
3	33	-	-	6,1	6,1	9,1	42,4	36,3	-
4	53	-	-	-	5,7	1,9	26,4	49,0	17
6	38	-	-	-	-	2,6	10,5	52,7	34,2
8	27	-	-	-	-	-	29,6	66,7	3,7

c)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	Gewicht der Eigelege in mg über 200	über 200	über 150	über 100	über 50	bis 50	0
0	44	-	13,6	27,3	20,5	20,5	13,6	4,5
2	28	-	-	7,1	10,7	21,5	50	10,7
3	33	-	3,0	6,1	6,1	21,2	57,5	6,1
4	53	-	1,9	1,9	3,8	13,2	47,1	32,1
6	38	-	-	-	-	2,6	65,8	31,6
8	27	-	-	-	-	3,7	92,6	3,7

d)

Dosis (krad) ♂♂	Zahl ♀♀	geschlüpfte Gelege (%)	Schlupfrate (%) bis 10 %	bis 40 %	bis 60 %	bis 90 %	über 90 %	Parthenogenese (%)	Sterilität (%)
0	44	86,4	2,3	-	4,5	9,1	70,5	-	0
2	28	17,9	14,3	3,6	-	-	-	17,6	100
3	33	33,3	24,2	9,1	-	-	-	33,3	100
4	53	5,7	5,7	-	-	-	-	5,7	100
6	38	2,6	2,6	-	-	-	-	2,6	100
8	27	-	-	-	-	-	-	-	100

Tab. VII: Mediane, Spannweiten und Signifikanzberechnungen

Sauggewicht (a) und Gewicht der Eigelege (b) der Partner-Weibchen

	γ-Strahlen-dosis (krad)	Zahl ♀♀	Median und Spannweite (range)	Signifikanz[1] Kontrolle gegen 2 krad	Signifikanz[1] Kontrolle gegen Kontrolle
a:					
Aa[2]	0	90	3,00(0,30-4,40) g	0	0
Aa	2	55	2,70(0,20-4,70) g		
An	0	44	2,67(0,23-4,17) g	0	
An	2	33	2,40(0,40-4,82) g		
Ha	0	45	663,0(135,0-1064,0) mg	0	0
Ha	2	37	578,0(178,0-1088,0) mg		
Hn	0	34	784,0(97,0-1174,0) mg	S	
Hn	2	11	373,0(166,0-1062,0) mg		
Ra	0	95	250,0 (35,0-700,0) mg	S	0
Ra	2	84	213,5 (16,0-462,0) mg		
Rn	0	44	291,0 (15,0-507,0) mg	S	
Rn	2	28	84,0 (26,0-432,0) mg		
b:					
Aa	0	90	1403,0(0-2390,3) mg	0	0
Aa	2	55	1385,0(0-2688,7) mg		
An	0	44	1440,6(0-2363,1) mg	0	
An	2	33	1122,0(0-2819,2) mg		
Ha	0	45	267,0(55,5-599,8) mg	0	0
Ha	2	37	234,4(0,0-583,8) mg		
Hn	0	34	366,8(18,9-724,3) mg	S	
Hn	2	11	115,8(2,1-198,7) mg		
Ra	0	95	79,2 (0-240,1) mg	0	0
Ra	2	84	57,7 (0-207,4) mg		
Rn	0	44	127,7 (0-251,7) mg	S	
Rn	2	28	14,9 (0-170,0) mg		

[1] Der statistische Vergleich der Versuchsgruppen wurde mit Hilfe des "Mann-Whitney-Testes" für eine vorgewählte Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1\ \%$ durchgeführt (zweiseitige Fragestellung).

S = signifikant ($P < 0,01$) 0 = nicht signifikant ($P > 0,01$)

[2] A = A. variegatum a = als Adulte bestrahlt
H = Hy. excavatum n = als Nymphen bestrahlt
R = Rh. appendiculatus

4. Diskussion

Wie die Ergebnisse meiner Untersuchungen zeigen, waren die Männchen aller drei untersuchten Zeckenarten nach einer Bestrahlung von 2 krad absolut steril. Dieser Feststellung steht das Ergebnis von DRUMMOND und Mit. (1966) am nächsten, die Amblyomma americanum-Männchen mit 2,5 krad sterilisierten. Sie stellten fest, daß diese, als Adulte bestrahlt, mit 1 krad noch nicht, mit 2,5 krad aber 100 % steril waren. Mit dazwischenliegenden Dosierungen wurde nicht bestrahlt. Möglicherweise liegt also auch bei A. americanum schon nach Bestrahlung mit 2 krad eine Sterilität bei den Männchen vor.
SIDOROW und GROKHOWSKAYA (1964) stellten bei Hyalomma asiaticum eine Sterilität nach Bestrahlung mit 3 krad fest.
OLIVER und Mit. (1972) konnten männliche Rhipicephalus sanguineus erst mit einer Dosis von 4 krad sterilisieren. Dieselbe Dosis benötigten PURNELL und Mit. (1972), um männliche Rhipicephalus appendiculatus zu sterilisieren.
Die für eine Sterilisierung männlicher Schildzecken notwendige Strahlendosis bei Adulten liegt also im Bereich von 2,5 - 4,0 krad, wie auch PURNELL und Mit. (1972) erwähnen. Bei den von mir untersuchten Zeckenarten tritt eine 100 %ige Sterilität aber schon bei 2,0 krad auf.

Bemerkenswert ist allerdings, daß es sich bei den von mir bestrahlten und untersuchten Zecken der Art Rh. appendiculatus vermutlich um denselben Laborstamm (Kenia-Muguga) handelt, wie er für die Bestrahlungsversuche von PURNELL und Mit. (1972) verwendet wurde, die eine Sterilität der Männchen, als Adulte bestrahlt, erst ab einer Dosis von 4 krad feststellten, während bei meinen Untersuchungen eine absolute Sterilität bereits nach 2 krad auftrat. Unterschiedlich waren nur das Alter der bestrahlten Zeckenmännchen und die Zeit zwischen Bestrahlung und dem Ansetzen auf einem Wirtstier zur Blutmahlzeit und Paarung. PURNELL und Mit. (1972) bestrahlten sie 8 Wochen nach der Häutung und setzten sie 2 Wochen nach der Bestrahlung an. Bei meinen

Versuchen wurden die Zecken schon eine Woche nach der Häutung, d. h. kurz nachdem die Chitinisierung der Zecken abgeschlossen ist, bestrahlt und bereits eine Woche nach der Bestrahlung angesetzt.
OLIVER und Mit. (1972) zeigten bei Rh. sanguineus, daß eine Erholung des Strahleneinflusses (radiorecovery) möglich ist. Männchen, die 2 Tage nach der Bestrahlung mit unbestrahlten Partner-Weibchen angesetzt wurden, waren bei einer Dosis von 2 krad und mehr völlig steril. Nach dieser ersten Begattung wurden die Männchen 30 Tage im Brutschrank gehalten und dann wieder mit ungesaugten Partner-Weibchen auf einem Wirtstier angesetzt. Bei dieser zweiten Begattung war ein Teil der mit 2 - 3 krad bestrahlten Männchen nicht mehr steril. Erst ab 4 krad war eine 100 %ige, beständige Sterilität festzustellen. Möglicherweise wäre in einer solchen "radiorecovery" die Erklärung für die Differenz zwischen Purnells und meinen Feststellungen zu suchen. Dies ist aber kaum anzunehmen, da bei beiden Versuchen die Männchen nur einmal zur Begattung kamen, während OLIVER und Mit. (1972) die "radiorecovery" ja erst feststellten, als die Männchen zum zweitenmal mit Weibchen angesetzt wurden.

Außer den adulten Zeckenmännchen, die eine Woche nach der Häutung bestrahlt wurden, bestrahlte ich auch Nymphen kurz (2 - 3 Tage) vor der Häutung, d. h. junge, fast vollständig entwickelte Adulte in den starren Nymphenhüllen. Das Ziel dieser Untersuchung war festzustellen, ob in diesem Lebensstadium eine γ-Bestrahlung denselben Effekt hat wie bei ausgereiften Adulten. Wenn nämlich Ixodidenmännchen für die sterile-male-release-technique (SMRT) in großen Massen radiosterilisiert werden sollen, wäre es eine große Erleichterung bei der technischen Durchführung der Bestrahlung, wenn man mit unbeweglichen Nymphen statt mit den sehr mobilen Adulten arbeiten könnte.
Die Auswirkung einer Bestrahlung mit 2 krad auf die Fruchtbarkeit der Männchen war mit einer 100 %igen Sterilität bei Amblyomma variegatum, Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus genau dieselbe, ob sie diese Dosis als Nymphen

(2 - 3 Tage vor der Häutung) oder als Adulte (eine Woche nach der Häutung) empfangen hatten.
Unterschiedlich war jedoch die Auswirkung auf die Konkurrenzfähigkeit, d. h. die Aktivität und Fähigkeit, eine Spermatophore in die weibliche Geschlechtsöffnung zu verbringen und somit den Begattungsreiz beim Weibchen auszulösen, der notwendig ist zum Vollsaugen des Weibchens und zur Reifung und Ablage der Eier.

Bei A. variegatum waren die Männchen nach einer Bestrahlung mit 2 krad (als Nymphen und Adulte) als konkurrenzfähig anzusehen, d. h. Saug- und Gelegegewicht sowie Saugzeit der Partner-Weibchen waren im Vergleich zu den Kontrollen nicht signifikant[+)] verändert.
Bei H. a. excavatum waren nur die als Adulte mit 2 krad bestrahlten Männchen als konkurrenzfähig anzusehen, während sich die Partner-Weibchen der mit derselben Dosis als Nymphen bestrahlten Männchen in Saug- und Gelegegewicht sowie in der Saugzeit von den Kontrollen signifikant unterschieden.
Bei Rh. appendiculatus waren ebenfalls nur die als Adulte mit 2 krad bestrahlten Männchen als bedingt konkurrenzfähig anzusehen, da sich ihre Partner-Weibchen zwar im Sauggewicht signifikant von den Kontrollen unterschieden, nicht aber im Gelegegewicht und der Saugzeit. Die Partner-Weibchen der mit derselben Dosis als Nymphen bestrahlten unterschieden sich dagegen signifikant in allen drei Merkmalen von den Kontrollen.

Im gleichen oder einem ähnlichen Prozentsatz, wie bei einer bestimmten Strahlendosis hohe Sauggewichte der Partner-Weibchen gemessen wurden, konnten bei den Gelegen dieser Weibchen hohe Gewichte verzeichnet werden; dasselbe traf für mittlere und niedere Gewichte zu.
Die von HONZÁKOVÁ und Mit. (1975) getroffene Feststellung, daß bei Ixodes ricinus stets eine deutliche Beziehung zwischen dem Sauggewicht der Weibchen und der Zahl der von ihnen gelegten Eier besteht, scheint also auch für andere Ixodidenarten zuzutreffen.

[+)] siehe Fußnote Seite 20

Beim Vergleich der Ergebnisse der Schlupfraten ist zu sehen, daß in unterschiedlichem Maße parthenogenetische Vermehrung bei der Paarung mit sterilen Männchen auftrat.
Es scheint, daß sterile, aber konkurrenzfähige und aktive Zeckenmännchen bei den von ihnen begatteten - nicht befruchteten! - Weibchen durch den Reiz zum Vollsaugen Parthenogenese provozieren können und diese Möglichkeit bei schwindender Aktivität durch höhere Strahlendosen nachläßt.
Vor der Anwendung der SMRT muß also festgestellt werden, ob und in welchem Maße bei dem auszurottenden Zeckenstamm Parthenogenese durch sterile, konkurrenzfähige Männchen ausgelöst werden kann.
Wenn dabei vermehrt Parthenogenese auftreten sollte, und dadurch die Dezimierung der betreffenden Zeckenpopulation nicht in einem vertretbaren Verhältnis zum hohen finanziellen Aufwand dieser Bekämpfungsmethode steht, so wäre dies im Falle einer Anwendung der SMRT ein wirtschaftlicher Verlust.

Wesentlich schwerer wiegend aber und unverantwortlich wäre die Verwendung nicht ganz 100 % steriler Zeckenmännchen zur SMRT, wie es z. B. bei Glossinenmännchen mit nur 90 % angestrebt wird (WETZEL, 1973). Es könnte dann zwar auch eine starke Dezimierung der bekämpften Zeckenpopulation erreicht werden, aber schon bei einer ganz geringen radioaktiven Bestrahlung (0,5 krad) sind in den männlichen Keimdrüsen bei Rh. sanguineus gravierende Chromosomenveränderungen festgestellt worden, deren Anzahl bei höherer Strahlendosis direkt proportional zunimmt (OLIVER und Mit., 1972).
Bei der Verwendung radiosterilisierter Zeckenmännchen bei der SMRT sollte daher die Gefahr bedacht werden, daß durch solche Chromosomenveränderungen Mutanten entstehen könnten, die vielleicht größeren Schaden anrichten und noch schwerer zu bekämpfen sind als die zuvor vorhandene Population. Eine absolut 100 %ige Sterilität ist also unbedingte Voraussetzung, selbst wenn dies auf Kosten einer absoluten Konkurrenzfähigkeit geht. Eine leicht geschwächte Konkurrenzfähigkeit der einzelnen Individuen kann ja durch das Aussetzen einer entsprechend größeren Zahl steriler Männchen ausgeglichen werden, wie es z. B.

TANTAWY und Mit. (1967a u. b) von Anopheles pharoensis schreiben.

Im Gegensatz zu den Glossinen ist es bei Schildzecken möglich, eine 100 %ige Sterilität zu erreichen ohne Beeinträchtigung ihrer Konkurrenzfähigkeit, wenn die Männchen als Adulte bestrahlt werden. Das gilt außer für die 3 von mir untersuchten Zeckenarten auch für A. americanum (DRUMMOND und Mit., 1966) und Rh. sanguineus (OLIVER und Mit., 1972).
Günstiger als bei Glossinen ist auch die Vermehrung der Schildzecken. Sie lassen sich ohne Schwierigkeiten in großen Mengen bei hoher Reproduktionsrate unter Laborbedingungen züchten.
Aber es ist wohl kaum möglich, in großen Landstrichen alle Stämme einer Zeckenart genetisch so weit zu erfassen, um eine Aussage treffen zu können, in welchem Maße nach der Begattung durch zeugungsunfähige Männchen Parthenogenese auftritt. Zudem muß damit gerechnet werden, daß bei Feldstämmen ebenso stark Parthenogenese auftritt wie bei Laborstämmen, da durch den Begattungsakt beim Weibchen ein Reiz zum Vollsaugen gesetzt wird, was wiederum notwendig ist zur Reifung und Ablage von Eiern.
Das Auftreten parthenogenetisch entstandener Weibchen, die, mit unbehandelten Männchen gepaart, normale, voll lebenstüchtige männliche und weibliche Nachkommen bei normal hoher Reproduktionsrate haben (SCHEIN, BEUTHNER, 1976), muß die Möglichkeit einer praktischen Durchführung der SMRT sehr in Frage stellen.

5. Zusammenfassung

Es wurden männliche Schildzecken der Arten Amblyomma variegatum, Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus Gammastrahlen in Dosierungen von 0 - 8 krad ausgesetzt; Nymphen 2 - 3 Tage vor der Häutung und Adulte eine Woche nach der Häutung. Bei einer γ-Strahlendosis von 2 und mehr krad waren alle bestrahlten Zecken 100 % steril.
Wurden die Männchen von Amblyomma variegatum als Nymphen oder Adulte mit 2 krad bestrahlt, so war in Saugzeit, Saug- und Gelegegewicht der unbestrahlten Partner-Weibchen kein signifikanter Unterschied zu den Kontrollen festzustellen; ebenso bei den als Adulte mit 2 krad bestrahlten Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus. Bei den Partner-Weibchen der als Nymphen mit 2 krad bestrahlten Hyalomma a. excavatum und Rhipicephalus appendiculatus sowie bei allen Partner-Weibchen der höher bestrahlten Männchen traten signifikante Unterschiede auf.
Da bei allen 3 Zeckenarten in unterschiedlichem Maße - z. T. aber recht stark - Parthenogenese auftrat, muß die Möglichkeit der praktischen Durchführung der sterile-male-release-technique zumindest mit den 3 untersuchten Zeckenstämmen sehr in Frage gestellt werden.

Summary

Nymphal stages (2 - 3 days before moulting) and adult male ticks (one week after moulting) of Amblyomma variegatum, Hyalomma a. excavatum, and Rhipicephalus appendiculatus were exposed to irradiation with gamma-rays in the range of 0 - 8 krad.

All ticks irradiated with a dose of 2 krad or more became 100 % sterile.

There was found no significant difference in engorged weight, time of engorgement, and egg weight in control-ticks and female partner-ticks of Amblyomma variegatum, males of which had received an irradiation dose of 2 krad as nymphs or adults. The same result was obtained in Hyalomma a. excavatum and Rhipicephalus appendiculatus when the males were irradiated as adults with 2 krad.

However, significant differences occured when males of Hyalomma a. excavatum and Rhipicephalus appendiculatus were irradiated as nymphs with 2 krad. This applied also when males of all 3 species of ticks (nymphs or adults) were irradiated with higher doses.

Since it was found that parthenogenesis occured in different degrees in all 3 species of ticks the practical application of the sterile-male-release-technique appears doubtful at least in the 3 investigated strains.

Literaturverzeichnis

1. Abdel-Malek, A. A., A. O. Tantawy, A. M. Wakid: Studies on the eradication of Anopheles pharoensis Theobald by the sterile-male technique using cobalt-60. I. Biological effects of gamma radiation on the different developmental stages. J. econ. Ent. 59, 672-678, 1966
2. Abdel-Malek, A. A., A. O. Tantawy, A. M. Wakid: Studies on the eradication of Anopheles pharoensis Theobald by the sterile-male technique using cobalt-60. III. Determination of the sterile dose and its biological effects on different characters related to "fitness" components. J. econ. Ent. 60, 20-23, 1967a
3. Abdel-Malek, A. A., A. O. Tantawy, A. M. Wakid: Studies on the eradication of Anopheles pharoensis Theobald by the sterile-male technique using cobalt-60. VI. Sperm activity in males irradiated with sterilizing dose. J. econ. Ent. 60, 1300-1302, 1967b
4. Arce, A. A.: Possibilities for using the sterile-male technique in torsalo, Dermatobia hominis, and other livestock pests in the OIRSA-area. In: Control of livestock insect pests by the sterile-male technique, Proc. Panel Vienna 1967, 1-3, IAEA 1968
5. Baldwin, W. E., E. L. Shaver: Radiation-induced sterility in the insect Rhodnius prolixus. Can. J. Zool. 41, 637-648, 1963
6. Banegas, A. D.: Effect of gamma radiation on the fertility of torsalo, Dermatobia hominis. In: Control of livestock insect pests by the sterile-male technique, Proc. Panel Vienna 1967, 19-22, IAEA 1968
7. Baumhover, A. H., A. J. Graham, B. A. Bitter, D. E. Hopkins, W. D. New, F. H. Dudley, R. C. Bushland: Screw-worm control through release of sterilized flies. J. econ. Ent. 48, 462-466, 1955
8. Bushland, R. C., D. E. Hopkins: Experiments with screw-worm flies sterilized by X-rays. J. econ. Ent. 44, 725-731, 1951
9. Bushland, R. C., D. E. Hopkins: Sterilization of screw-worm flies with X-rays and gamma rays. J. econ. Ent. 46, 643-656, 1953
10. Bushland, R. C., A. W. Lindquist, E. F. Knipling: Eradication of screw-worms through release of sterilized males. Science N. Y. 122, 287-288, 1955
11. Dame, D. A.: The present situation and future prospects for control of tse-tse by sterile-male techniques. In: Control of livestock insect pests by the sterile-male technique, Proc. Panel Vienna 1967, 25-29, IAEA 1968

12. Dame, D. A., C. H. Schmidt: The sterile-male technique against tse-tse flies, Glossina spp.
Bull. ent. Soc. Am. 16, 24-30, 1970
13. Davis, A. N., J. B. Gahan, D. E. Weidhaas, C. N. Smith: Exploratory studies on gamma radiation for the sterilization and control of Anopheles quadrimaculatus.
J. econ. Ent. 52, 868-870, 1959
14. Dean, G. J., R. J. Phelps, B. Williamson: Sterilization with gamma-rays and field investigations into the breeding of Glossina morsitans.
In: Control of livestock insect pests by the sterile-male technique, Proc. Panel Vienna 1967, 31-36, IAEA 1968
15. Drummond, R. O., J. G. Medley, O. H. Graham: Engorgement and reproduction of Lone Star Ticks (Amblyomma americanium) treated with gamma-radiation.
Int. J. Radiat. Biol. 10, 183-188, 1966
16. Flint, H. M.: The effects of gamma radiation on mating competitiveness and fecundity of Hippelates pusio Loew.
J. econ. Ent. 59, 96-99, 1966
17. Galun, R., M. Warburg, A. Avivi: Studies on the application of the sterility method in the tick Ornithodoros tholozani.
Entomologia exp. appl. 10, 143-152, 1967
18. Galun, R., S. Sternberg, C. Mango: The use of sterile females for the control of the tick Argas persicus Oken.
Israel J. ent. 7, 109-115, 1972
19. Graham, O. H., R. O. Drummond, R. A. Hoffman: Possibilities of the sterile-male technique for the control of livestock insects in the United States of America.
In: Control of livestock pests by the sterile-male technique, Panel Vienna 1967, 41-44, IAEA 1968
20. Hathaway, D. O.: Laboratory and field cage studies of the effects of gamma radiation on codling moths.
J. econ. Ent. 59, 35-37, 1966
21. Honzáková, E., J. Olejníček, V. Černý, M. Daniel, F. Dusbábek: Relationship between number of eggs deposited and body weight of engorged Ixodes ricinus female.
Folia Parasit., Praha 22, 37-43, 1975
22. Hoogstraal, H.: African Ixodoidae. I. Ticks of the Sudan. Head Department of Medical Zoologie - US Naval Medical Research Unit No. 3 - Cairo, 1956
23. Hunter, W.-D.: Results of experiments to determine the effect of roentgen-rays upon insects.
J. econ. Ent. 5, 188-193, 1912
24. Itard, J.: Stérilisation des mâles de Glossina morsitans et Glossina tachinoides Westw. par irridation aux rayons gamma.
Proc. Symp. tse-tse breeding under laboratory conditions and its practical application, Lisboa, 369-384, 1970

25. Knipling, E. F.: Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males.
J. econ. Ent. 48, 459-462, 1955
26. Knipling, E. F.: 1) Early developments in the sterile-male technique. 2) The integration of the sterile-insect-release-method with other means of control.
In: Insect population control by the sterile-male technique. Technical reports series No. 44, 1-3, 61-71, IAEA Vienna 1965
27. Köhler, G., F. Hörchner, G. Hoffmann, G. Weiland: Immunbiologische Untersuchungen an Kaninchen mit Ixodiden-Infestationen.
Berl. Münch. tierärztl. Wschr. 20, 396-400, 1967
28. Lewis, L. F., G. W. Eddy: Some effects of gamma radiation on the horn fly.
J. econ. Ent. 57, 275-276, 1964
29. Lindquist, A. W.: The use of gamma radiation for control or eradication of the screw-worm.
J. econ. Ent. 48, 467-469, 1955
30. Lindquist, A. W.: Insect population control by the sterile-male technique.
Technical reports series No. 21, 10-13, IAEA Vienna 1963
31. Morlan, H. B., E. M. McCray, jr., J. W. Kilpatrick: Field tests with sexually sterile males for control of Aedes aegypti.
Mosquito News 22, 295-300, 1962
32. Oliver, J. H., R. L. Osburn, J. R. Roberts, jr.: Cytogenetics of ticks (Acari: Ixodoidea). 9. Chromosomes of Rhipicephalus sanguineus (Latreille) and effects of gamma radiation on spermatogenesis.
J. Parasit. 58, 824-827, 1972
33. Pervomaisky, G. S.: Parthenogenetic development in ticks of the family Ixodidae (in Russisch).
Zool. Zh. 28, 523-526, 1949
34. Proverbs, M. D., J. R. Newton, D. M. Logan: Autocidal control of the codling moth by release of males and females sterilized as adults by gamma radiation.
J. econ. Ent. 60, 1302, 1967
35. Purnell, R. E., J. D. Dargie, B. Gilliver, A. D. Irvin, M. A. Ledger: Some effects of irradiation on the tick Rhipicephalus appendiculatus.
Parasitology 64, 429-440, 1972
36. Purnell, R. E., J. D. Dargie, A. D. Irvin, M. A. Ledger: ^{60}Co-irradiation of the tick Rhipicephalus appendiculatus.
In: Isotopes and radiation in parasitology. III. Proc. Meeting, Kabete, Kenya 1971, 139-144, IAEA 1973
37. Schein, E.: Untersuchungen an Hyalomma dromedarii Koch und Hyalomma anatolicum excavatum Pomerantzev über Parthenogenese und Möglichkeiten ihrer Kreuzung.
Vet. med. Diss., FU Berlin, 1968
38. Schein, E., U. Beuthner: Parthenogenetic development of Rhipicephalus appendiculatus.
Tropenmed. Parasit 1976, im Druck

39. Sidorow, V. E., I. M. Grokhowskaya: Die Wirkung von Röntgen-Strahlen auf adulte Hyalomma asiaticum (in Russisch).
Med. parazitol. Moskva 33, 560-563, 1964

40. Sternberg, S., B. A. Peleg, R. Galun: Effect of irradiation on mating competitiveness of the male tick Argas persicus Oken.
J. med. Ent. 10 , 137-142, 1973

41. Tantawy, A. O., A. A. Abdel-Malek, A. M. Wakid: Studies on the eradication of Anopheles pharoensis Theobald by the sterile-male-technique using cobalt-60. IV. Mating behavior and its frequency in the sterilized mosquitoes.
J. econ. Ent. 60, 23-26, 1967a

42. Tantawy, A. O., A. A. Abdel-Malek, A. M. Wakid: Studies on the eradication of Anopheles pharoensis Theobald by the sterile-male-technique using cobalt-60. V. Mating competitiveness in radiosterilized males.
J. econ. Ent. 60, 696-699, 1967b

43. Tilton, E. W., W. E. Burkholder, R. R. Cogburn: Mating competition of gamma-irradiated and non-irradiated male Trogoderma glabrum Herbst.
J. econ. Ent. 59, 168-169, 1966

44. Walker, J. B.: Notes on the common tick species of East Africa.
Cooper Kenya Ltd., Nairobi, Third Edition, 1970

45. Walker, J. R., T. A. Brindley: Effect of X-ray exposure on the European corn borer.
J. econ. Ent. 56, 522-525, 1963

46. Weidhaas, D. E., C. H. Schmidt, E. L. Seabrook: Field studies on the release of sterile males for the control of Anopheles quadrimaculatus.
Mosquito News 22, 283-291, 1962

47. Wetzel, H.: Glossinenzucht zur Anwendung der sterile-male-technique für die Tsetsefliegenbekämpfung.
SchrReihe Bundesstelle Entwicklungsh. Nr. 8, 19-23, 1973

48. Weyer, F., F. Zumpt: Grundriß der medizinischen Entomologie, 4. Aufl. 29-30, 49-57, Verl. Joh. Ambrosius Barth, Leipzig 1966

Herrn Prof. Dr. Franz Hörchner möchte ich für die Überlassung des Themas und des Arbeitsplatzes danken.

Mein Dank gilt weiter Herrn Dr. Eberhard Schein, der mir stets mit wertvollen Ratschlägen zur Seite stand, sowie allen Angehörigen des Institutes, die mir bei der technischen Durchführung der Arbeit behilflich waren.

Nicht zuletzt gilt mein Dank auch Herrn Dr. Wolfram Schnabel im Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin-Wannsee, der mir die Benutzung einer ^{60}Co-Quelle ermöglichte.

Mein Lebenslauf

Ich, Manfred Ulrich Beuthner, wurde am 10. Juli 1949 in Ahlen/Westf. als erstes Kind des Manfred Beuthner, techn. Kaufmann, und seiner Ehefrau Trudhilde, geb. Sandmann, geboren.

Im Frühjahr 1951 verzogen wir nach Pforzheim, wo auch meine vier Brüder zur Welt kamen.

Meine Schulausbildung begann Ostern 1956 in der Volksschule Pforzheim-Brötzingen I. Nach bestandener Aufnahmeprüfung kam ich Ostern 1960 auf das Kepler- (später Hebel-) Gymnasium Pforzheim, wo ich im Juni 1968 das Abitur bestand. Im Wintersemester 1968/69 wurde ich in der Veterinärmedizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin immatrikuliert und bestand hier am 3. Oktober 1973 die Tierärztliche Prüfung. Meine Bestallung als Tierarzt erhielt ich mit Wirkung vom 24. Oktober 1973.

Seit 1. Dezember 1974 bin ich als Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Parasitologie und Tropenveterinärmedizin der Freien Universität Berlin tätig.